

## Verfahren zur Bestimmung der Position und Drehlage eines Objektes

**Publication number:** DE19812609

**Publication date:** 1999-10-28

**Inventor:** BRAUNECKER BERNHARD (CH); AEBISCHER BEAT (CH); APPIUS RAPHAEL (CH)

**Applicant:** LEICA GEOSYSTEMS AG (CH)

**Classification:**

**- international:** **G01B11/03; G01C15/00; G01S5/16; G01B11/03; G01C15/00; G01S5/00;** (IPC1-7): G01B11/03; A01C19/04; A61B19/00; F41A21/00; G01B11/24; G01C5/00; G02B21/00

**- european:** G01C15/00; G01S5/16B

**Application number:** DE19981012609 19980323

**Priority number(s):** DE19981012609 19980323

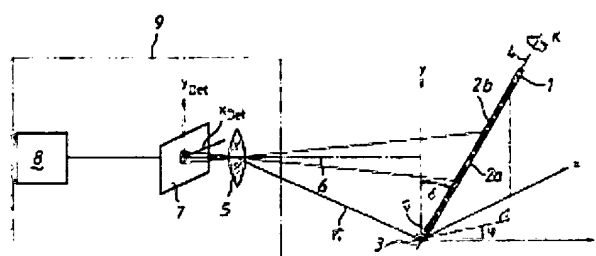
**Also published as:**

WO9949280 (A1)  
EP1066497 (A1)  
EP1066497 (A0)  
CA2324220 (A1)  
EP1066497 (B1)

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE19812609

The invention relates to a method for determining the spatial and rotational positions of an object (1). With the assistance of an imaging optical system (5), the object (1) is mapped and detected on a high-sensitivity resolution optoelectronic detector (7). The location parameter of the object (1), such as the position vector ( $r^0$ ), the direction vector ( $v$ ) of the object axis (4), and the angle ( $\kappa$ ) of rotation of the object (1) around the object axis (4) is determined from the planar position of the mapped object structures (2a; 2b) in the coordinate system ( $x_{Det}$ ,  $y_{Det}$ ) of the detector (7) by means of geometric optical relationships and mathematical evaluation methods. With this, the spatial position of the object (1) is determined in a quick and contactless manner.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



ken und zu messen. Mit Hilfe von Boodend, die mit dem Geschützrohr mechanisch verbunden sind, wird die horizontale und vertikale Winkelstellung (Azimut und Elevation) des Geschützrohres geteilt. Die Boodend enthalten in allgemeinen kodierte Dreiecke, die über ein Getriebe beim Verschwenken des Geschützrohres eine Drehbewegung ausführen und dabei den Drehwinkel entsprechende elektrische Signale liefern. Das mechanische Spiel ist bei derartigen Steuerungen nachteilig. Zudem führen die großen Thermos- und Schockbelastungen zu Ungenauigkeiten und zu erheblichen Verschleiß.

[0011] Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Position und die Drehlage eines Objektes im dreidimensionalen Raum schnell und bedienungsfähig bestimmt werden kann.

[0012] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen nach Anspruch 1 oder 2 gelöst. Verteilbare Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen 3 bis 19.

[0013] Zur Ermittlung der Position und Drehlage eines Objektes im Raum wird ein optischer Maßkopf verwendet. Der Maßkopf beinhaltet eine Abbildungsoptik und einen in zwei Dimensionen ortsauflösenden Detektor, der in der Fokalebene der Abbildungsoptik angeordnet ist. Das Objekt wird mit seinen Objektsstrukturen durch die Abbildungsoptik auf den Detektor abgebildet. Die Objektsstrukturen sind als Information von vornherein bekannt. Die Objektsstrukturen können die geometrische Form des Objekts und seine Ausmaße beinhalten oder sie können Markierungen an bestimmten Stellen auf dem Objekt sein oder sie sind ein Codemuster, das auf dem Objekt aufgebracht ist. Das auf dem Detektor zweidimensional vorliegendes Bild des Objektes bzw. der Objektsstrukturen wird in einer an den Detektor angeschlossenen Auswertereinheit ausgewertet.

[0014] Es gibt verschiedene Möglichkeiten für die Auswertung der zweidimensionalen Bildinformation. Zum einen kann das Bild des Objektes mit berechneten Bildern verglichen werden. Aus der bekannten Geometrie des Objektes oder aus vorhandenen Markierungen auf dem Objekt oder aus einem vorhandenen Codemuster auf dem Objekt oder auch aus allen diesen Objektsstrukturen zusammen kann unter Einbeziehung der bekannten Eigenschaften der Abbildungsoptik (und gegebenenfalls der Diskretisierung des ortsauflösenden Detektors) für beliebige sinnvolle Werte der eingangs genannten sechs Lagereparameter das zu erwartende Detektorbild berechnet werden. Mit Hilfe von Optimierungsverfahren werden diejenigen Werte der Lagereparameter bestimmt, die die beste oder zumindest eine hinreichend gute Übereinstimmung des berechneten Bildes mit dem tatsächlich aufgenommenen Bild liefern. Solche Optimierungsverfahren sind beispielsweise die Quasi-Newton-Verfahren (Bestimmung der minimalen Quadrat- oder normierten Least-Squares etc.), die aus K. Levenberg: "A method for the Solution of Certain non-linear Problems in Least Squares", Quart. Appl. Math. 2 (1944), pp. 164-168 oder aus D. W. Marquardt: "An Algorithm for Least-squares Estimation of Nonlinear Parameters", SIAM J. Appl. Math. 11 (1963), pp. 431-441 oder aus J. J. More: "The Levenberg-Marquardt Algorithm: Implementation and Theory", Numerical Analysis, ed. G. A. Watson, Lecture Notes in Mathematics 630, Springer Verlag (1978), pp. 105-116 bekannt sind.

[0015] Eine andere Auswertemöglichkeit besteht darin, die auf dem Detektor abgebildeten Objektsstrukturen hinsichtlich ihrer geometrischen Parameter zu analysieren und daraus die Lagereparameter des Objektes zu bestimmen. Es werden also zunächst die eckige Position und Drehlage der

abgebildeten geometrischen Formen (z. B. Randkonturen) oder des Codemusters auf dem Detektor und der Verlauf des sich in Abhängigkeit der Detektorkoordinaten ändernden Abbildungsmaßstabes gemessen und ermittelt. Bei Verlegen eines Codemusters werden vorzugsweise komplett alle Codemuster des auf dem Detektor abgebildeten Codemusters verwendet, da dadurch eine hohe Genauigkeit und vor allem eine große Robustheit und Stabilität des Auswertungsergebnisses erreicht werden kann. Für andere Aufwendungen wie beispielsweise für ein besonders schnelles Verlegen des Maßkopfes genügt aber bereits die Auswertung von nur 3 decodierten Codemustern des Codemusters. Die Genauigkeit des Meßergebnisses ist dabei etwas eingeschränkt. Alternativ hierzu können auch nur die abgebildeten Randkonturen des Objektes ausgewertet werden.

[0016] Aus den ermittelten geometrischen Parametern der abgebildeten Objektsstrukturen werden mit Hilfe der optischen Abbildungsformel und geometrischer Beziehungen (Vektoralgebra) die Lagereparameter des Objektes bestimmt. Durch die Lagereparameter, die wie eingangs erwähnt den Positionsvektor, den Richtungsvektor der Objektschneide und den Drehwinkel des Objektes um die Objektschneide beinhalten, ist die räumliche Lage des Objektes, also dessen Position und Drehlage rekonstruierbar.

[0017] Selbstverständlich können die genannten Auswertemöglichkeiten auch miteinander kombiniert werden. Beispielsweise kann eine Grobbestimmung der Lagereparameter durch eine grobe Auswertung der Randkonturen oder nur weniger Codemuster erfolgen und sich eine Feinauswertung unter Einbeziehung der gesamten aufgenommenen Objektsstrukturen oder aller aufgenommenen Codemuster anschließen. Für die Feinauswertung können insbesondere auch die oben zitierten Optimierungsverfahren herangezogen und hierfür die aus der Grobwertung bestimmten Lagereparameter als Startparameter für die Optimierung genutzt werden.

[0018] Zweckmäßigerweise wird für die räumliche Lagebestimmung des Objektes ein 3-dimensionalisiertes kartesisches Koordinatensystem gewählt. Die Koordinaten des Maßkopfes und somit des Detektors sind in diesem Koordinatensystem bekannt. Das Koordinatensystem kann auch von vornherein so gewählt werden, daß es mit den Detektorkoordinaten übereinstimmt. Es versteht sich von selbst, daß die Lagereparameter des Objektes in jedes beliebige sinnvolle Koordinatensystem umgerechnet werden können. Insbesondere kann die Drehlage des Objektes auch durch zwei Polwinkel oder durch Azimut, Elevation und jeweils den Drehwinkel des Objektes um die Drehachse oder auch durch drei Eulerwinkel angegeben werden.

[0019] Für die Erfindung ist ein in zwei Dimensionen ortsauflösender optoelektronischer Detektor notwendig. Dieser kann beispielsweise eine Videokamera oder ein zweidimensionales CCD-Array sein. Es können aber auch mehrere nebeneinander angeordnete eindimensionale CCD-Arrays verwendet werden. Mit einem solchen Detektor und mittels der Abbildungsformel wird das Objekt aufgenommen. Dabei werden die im Gesichtsfeld der Abbildungsformel befindlichen Objektsstrukturen abgebildet und detektiert. Der Detektor ist dabei mit seiner lichtempfindlichen Detektorfläche im allgemeinen senkrecht zur optischen Achse der Abbildungsformel positioniert. Der Schnittpunkt der optischen Achse mit der lichtempfindlichen Detektorfläche kann den Nullpunkt des Koordinatensystems des Detektors definieren.

[0020] Bei Verwendung eines CCD-Detektors mit diskreten lichtempfindlichen Pixelstrukturen kann mit geeigneten Objektsstrukturen, insbesondere mit geeigneten Detektor eines Codemusters die örtliche Auflösung des CCD-Detektors noch erheblich gesteigert werden. Dabei ist mehr als das

10-fache der Pixelauflösung des Detektors erreichbar. Die besondere Meßempfindlichkeit ergibt sich, wenn die Ortsfrequenzen oder eine der harmonischen Ortsfrequenzen der durch das Codemuster auf dem Detektor bereitgestellten Intensitätsverteilung mit der Ortsfrequenz der strahlungsempfindlichen Strukturen des Detektors in niedrigeren Überlagerungsmustern bilden. Das niedrige Überlagerungsmuster wirkt in derselben Art und Weise wie ein Maßmuster. Von Maßmustern ist bekannt, daß sie sehr empfindlich auf eine Verschiebung der erzeugenden Strukturen reagieren. Dies bedeutet hier, daß bereits bei einer sehr geringen Veränderung der Intensitätsverteilung auf dem Detektor gegenüber dessen Pixelstruktur sich das niedrige Überlagerungsmuster in seiner Ortsfrequenz stark ändert. Somit kann die Lage des abgebildeten Codemusters auf dem Detektor hochpräzise gemessen werden. Da eine Änderung des Überlagerungsmusters durch eine Änderung der Position und Drehlage des Objektes hervorgerufen wird, werden also die Lagereparameter des Objektes im Raum sehr empfindlich und damit hochpräzise meßbar.

[0021] Ist das Objekt eine Nivellierlatte, so ist zusätzlich zu ihrer Position auch der Richtungsvektor ihrer Achse von Bedeutung, da er die Vektorgewichtung der Nivellierlatte aus der Senkrechten beschreibt. Neben den bekannten herkömmlichen Nivellierlaten, bei denen ein Codemuster auf einer ebenen Fläche aufgebracht ist, kann auch eine zu ihrer Längsachse rotationsymmetrische Nivellierlatte mit einem rotationsymmetrischen Stichcode verwendet werden. In diesem Fall kann die Abbildungsformel dasselbe Codemuster soget kontinuierlich von allen Seiten der Nivellierlatte aufnehmen. Durch die Bestimmung des Richtungsvektors der Nivellierlatte aus dem abgebildeten Codemuster oder der Nivellierlatte aus dem Nivellierlatte wird sowohl die Neigung der Nivellierlatte in Blickrichtung der Abbildungsformel als auch die laterale Neigung der Nivellierlatte quer zur Blickrichtung der Abbildungsformel erfaßt. Somit wird die Abweichung der Nivellierlatte von der idealen Senkrechten ermittelt und in einer entsprechenden Korrektur für die Nivellierung berücksichtigt. Diese Korrektur erfolgt automatisch bei jeder Nivellierung. Damit kann sogar eine vorübergehende Ausrichtung der Nivellierlatte entfallen. Dadurch wird eine schnelle und präzise Geländevermessung mit nur einer einzigen Bedienperson und auch unabhängig von den Windverhältnissen ermöglicht. Wird darüber hinaus im gegebenen Fall auch der Drehwinkel der Nivellierlatte um ihre Achse bestimmt – ein geeignetes Codemuster oder bestimmte Markierungen vorausgesetzt – so ergibt sich damit bei einem ortsauflösenden Maßkopf automatisch auch dessen Ausrichtung.

[0022] Ist das Objekt ein Geschützrohr, so kann dieses analog zum Fall der Nivellierlatte mit verschiedenen Codemustern ausgestattet werden. Sollen nur Elevation und Azimut des Geschützrohres ermittelt werden, so genügt bereits ein zur Längsachse des Geschützrohres rotationsymmetrisches Codemuster oder nur der Randkontur des Geschützrohres. Wird zusätzlich ein Codemuster mit zur Längsachse parallel ausgerichteten Codemustern auf dem Geschützrohr aufgebracht, so kann zusätzlich dessen Drehwinkel um seine Achse bestimmt werden. Die Codemuster können dabei auch stochastisch ausgerichtet sein. Auch können Kombinationen dieser Codemuster verwendet werden, bei denen sich z. B. Segmente mit rotationsymmetrischen Codierungen und Segmente mit parallelen oder stochastischen Codierungen abwechseln. Vorteilhaft ist auch ein um das Geschützrohr spiralförmig aufgewickeltes Codemuster, mit dem etwa gleiche Empfindlichkeit für den Richtungsvektor der Geschützrohrachse und den Drehwinkel des Geschützrohres

um seine Achse erreicht werden kann. Es kann aber auch ein Codemuster mit einer vollkommen unregelmäßigen Struktur verwendet werden, wie es beispielsweise militärische Turmmuster besitzen. Entscheidend für alle Codemuster ist, daß sie entweder von sich aus bekannt sind oder durch eine Vermessung ermittelt werden. Verteilhaft ist dabei solche Codemuster, für die Korrelationsverfahren leicht anwendbar sind.

[0023] Mittels der Abbildungsformel werden die Konturen des Geschützrohres oder/und das Codemuster aufgenommen und die Drehlage des Geschützrohres herangezogen. Gegebenenfalls kann das Geschützrohr aktiv bebildet werden, z. B. mit Infrarotlicht. Das Geschützrohr bzw. das aufgenommene Codemuster können auch selbstständig sein. Bei einer im allgemeinen festen Anordnung von Abbildungsformel und Detektor gegenüber dem Geschützrohr und aufgrund der optischen Vermessung ergibt sich der große Vorteil, daß keinerlei mechanisch bewegliche Komponenten zur Bestimmung von Azimut, Elevation und Drehwinkel des Geschützrohres notwendig sind. Diese bodenunabhängige Vermessung läuft schnell ab und liefert präzise Ergebnisse.

[0024] Ist das Objekt ein im medizinischen Umfeld – insbesondere in der automatisierten Mikrochirurgie – eingesetztes Hilfsmittel wie z. B. ein Operationsmikroskop, ein Operationswerkzeug (Skalpell, Bohrer, endoskopisches Mittel, etc.) oder auch eine Strahlungsquelle zur Tumorbildung, so muß eine gute Sichtbarkeit der Objektsstrukturen des Hilfsmittels für den Maßkopf gewährleistet sein. Bei der Handhabung mit dem Hilfsmittel kann dieses von Personen oder Instrumenten zeitweilig verdeckt und die Blickrichtung zum Maßkopf unterbrochen werden. Soll unter diesen Bedingungen aber ständig die räumliche Lage des Hilfsmittels gemessen werden, so ist es nützlich, wenn sich die von dem Maßkopf zu erfassenden Objektsstrukturen an exponierten Stellen des Hilfsmittels befinden, damit sie möglichst gut in Freier Blickrichtung zum Maßkopf liegen. Bei Verwendung eines Codemusters kann ein solches dabei auch an mehreren Stellen des Hilfsmittels aufgebracht sein oder es kann sogar die gesamte Oberfläche des Hilfsmittels überdecken. Der Maßkopf kann für eine optimale Aufnahme räumlich beweglich sein oder es werden vorzugsweise mehrere im Raum verteilt angeordnete Maßköpfe gleichzeitig verwendet. Die Redundanz der von mehreren Maßköpfen gelieferten Ergebnisse erfüllt zudem die im medizinischen Bereich gestellte Forderung nach besonderer Gefäßersicherheit.

[0025] Im übrigen kann das Objekt auch der Patient selbst sein, d. h. genauer ein mit dem Patienten fest verbundenes Rahmen, der das Koordinatensystem des Patienten definiert. Gerade bei Operationen von Tumoren im Gehirn wird ein solcher Rahmen am Kopf des Patienten fixiert, wobei die räumliche Lage des Tumors bezüglich des Rahmens z. B. durch vorherige Computertomographie-Aufnahmen ermittelt wird. Werden die geometrischen Strukturen des Rahmens oder die auf dem Rahmen aufgetragenen Codemuster von den Maßköpfen aufgenommen und die räumliche Lage des Rahmens bestimmt, so sind die Koordinaten des Tumors auch im Koordinatensystem der Maßköpfe bekannt. Da zudem auch die räumliche Lage des Operationsmikroskops und der Operationswerkzeuge mit Hilfe der Maßköpfe festgestellt wird, kann eine endoskopische Navigation durch das Gehirn zum Tumor vollautomatisch erfolgen.

[0026] Bei allen genannten Anwendungsbereichen der Erfindung kann es vorkommen, daß sich ein Objekt schließt mit einem zu verwendenden Codemuster versehen läßt oder das Objekt bereits als fertiges Bauteil vorliegt. In solchen Fällen besteht die Möglichkeit, einen mit einem Codemuster

verschieden separaten Körper am Objekt exzentrisch anzu-  
bringen ("Boosterprinzip"). Der Körper kann eine zylindri-  
sche Form besitzen. Natürlich können auch mehrere solcher  
Körper an einem Objekt angebracht werden. Wenn sich das  
Objekt im Raum bewegt, vollführt auch der separat ange-  
brachte Körper endogene gekoppelte Bewegungen, insbe-  
sondere Drehbewegungen, so daß stets auf die Position und  
Drehlage des Objektes rechnerisch geschlossen werden  
kann.

[0027] Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der  
Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:  
[0028] Fig. 1 eine schematische Darstellung der Drehlage  
eines mit einem Codemuster versehenen Objekts und der  
Aufnahme der Objektstrukturen durch einen Meßkopf mit  
einem optischen Abbildungssystem und einem ortsauflösen-  
den Detektor.

[0029] Fig. 2 eine schematische Darstellung von Detek-  
turalaufnahmen des Objekts bei verschiedenen Drehlagen.  
[0030] Fig. 3 eine Darstellung geometrischer Zusammen-  
hänge zur Ermittlung der Drehlage und des Positionsvektors  
des Objekts.

[0031] Fig. 4 eine schematische Darstellung eines als me-  
dizinisches Hilfsmittel ausgebildeten Objekts und dessen  
Aufnahme durch mehrere Meßköpfe und  
[0032] Fig. 5a, b separat, mit einem Codemuster verse-  
hene Körper, die an dem zu vermessenden Objekt ange-  
bracht sind.

[0033] Fig. 1 zeigt schematisch ein Objekt 1 in einem  
rechtwinkligen Koordinatensystem  $x, y, z$ . Das Objekt 1 be-  
steht aus einem Fußpunkt 3 und einem Objektkörper 4 und kann mit  
einem Codemuster 2b versehen sein. Die Objektstrukturen 2a  
oberhalb des Codemusters 2b sind entweder von vornherein  
bekannt oder es werden vermessen, so daß sich die Größe,  
Form und der Abstand der Details der Objektstrukturen 2a  
bzw. der einzelnen Codeelemente des Codemusters 2b zum  
Fußpunkt 3 des Objekts 1 ergeben. Die Objektstrukturen 2a  
sind im einfachsten Fall gerade Linien. In Fig. 1 sind die  
Objektstrukturen 2a zusätzlich rotationssymmetrisch zur Op-  
jektachse 4 dargestellt, wobei in diesem Spezialfall der  
Drehwinkel  $\varphi$  des Objektes 1 um die Achse 4 nicht allein  
aus den Objektstrukturen 2a ermittelt werden kann.

[0034] Mit Hilfe einer in einem Meßkopf 9 befindlichen  
Abbildungsoptik 5 wird der in ihren Gesichtsfeld befindli-  
che Teil der Objektstrukturen 2a, 2b auf einen zweidimen-  
sional ortsauflösenden optoelektronischen Detektor 7 abge-  
bildet. Die elektronischen Signale des Detektors 7 werden in  
einer Auswerteinheit 8 ausgewertet.

[0035] In der lichtoptischen Detektorebene des De-  
tektors 7 ist ein Koordinatensystem  $x_{det}, y_{det}$  definiert, wo-  
bei dessen Koordinatennullpunkt im Schnittpunkt der opti-  
schen Achse 6 der Abbildungsoptik 5 mit der Detektorebene  
gewählt ist. Die senkrecht zur Detektorebene angeordnete  
optische Achse 6 ist parallel zur z-Achse des Koordinaten-  
systems  $x, y, z$  ausgerichtet. Im Falle einer horizontalen  
Abbildungsoptik 5 ist die y-Achse zugleich die Senkrechte  
zur Detektorebene. Selbstverständlich können auch andere  
Koordinatensysteme verwendet werden.

[0036] Die Lage des Objektes 1 im Raum ist durch sechs  
Lageparameter eindeutig bestimmt. Sie ergeben sich aus den  
Komponenten des Positionsvektors  $\vec{r}_0$ , den Komponenten  
des Richtungsvektors  $\vec{r}$ , der wegen seiner Eigenschaft als  
Einheitsvektor nur zwei unabhängige Parameter enthält, und  
dem Drehwinkel  $\varphi$  des Objektes 1 um seine Achse 4. Der  
Positionsvektor  $\vec{r}_0$  zeigt von der Abbildungsoptik 5 zum  
Fußpunkt 3 des Objekts 1. Der Richtungsvektor  $\vec{r}$  weist in  
die Richtung der Objektschse 4 und gibt somit deren Lage  
im Raum an. Anstelle des Richtungsvektors  $\vec{r}$  kann die Lage  
der Objektschse 4 auch durch den von der Positionsvektor  $\vec{r}_0$  von

der Abbildungsoptik 5 zum Fußpunkt 3 des Objekts 1 vorge-  
geben sein. Der vorgegebene Positionsvektor  $\vec{r}_0$  bedeutet,  
daß die Abbildungsoptik 5 und der Fußpunkt 3 des Objekts  
1 gegeneinander unveränderlich sind. Der Positionsvektor  
 $\vec{r}_0$  kann durch eine einfache mechanische Messung oder bei  
höheren Anforderungen auch durch eine Laservermessung  
oder durch eine Kalibrierung, bei der sich das Objekt 1  
in einer vorkannten räumlichen Lage befindet, ermittelt  
werden. Eine solche gegenseitige Fixierung von Meßkopf 9  
und Objekt 1 kann beispielsweise bei einem Geschloßrohr  
als Objekt 1 der Fall sein. Mit dem bekannten Positionsvек-  
tor  $\vec{r}_0$  werden die Polarwinkel  $(\varphi, \delta)$  des Geschloßrohrs er-  
mittelt, wodurch dieses in einer vorgegebenen Drehlage ge-  
bracht oder eingeregelt werden kann. Innerhalb des  
Schwenkbereichs des Geschloßrohrs muß das Codemuster  
2 wenigstens zu einem Teil von der Abbildungsoptik 5 er-  
faßt werden können.

[0043] Aus den nachfolgenden Gleichungen wird der Ab-  
stand  $|\vec{r}_0|$  der Abbildungsoptik 5 zum i-ten Codeelement  
des Codemusters 2 ermittelt, wobei

$$\vec{r}_i = f \cdot \vec{e}_x - \vec{p}_i$$

und  $\vec{e}_x$  der Einheitsvektor in positiver z-Richtung ist. Der  
Vektor  $\vec{p}_i$  ist somit bekannt, während  $f$  der zu bestimmende  
Multiplikationsfaktor ist. Es gilt die Vektorgleichung

$$\vec{r}_i = \lambda_i \cdot \vec{a}_i - \vec{r}_0$$

[0044] Durch die Bildung des Betragquadrats ergibt sich  
die folgende quadratische Gleichung für  $\lambda_i$ :

$$|\vec{a}_i|^2 \cdot \lambda_i^2 - 2 \cdot (\vec{r}_0 \cdot \vec{a}_i) \cdot \lambda_i + |\vec{r}_0|^2 - |\vec{p}_i|^2 = 0.$$

[0045] Somit gibt es für  $\lambda_i$  zwei Lösungen, die in Fig. 3  
anschaulich durch die beiden Schnittpunkte des gestrichelt  
gezeichneten Kreisbogens mit der Beobachtungserichtung  $\vec{a}_i$   
zum i-ten Codeelement dargestellt sind. Die Endigkeit  
der Lösung wird durch die Verzerrung des i-ten Codeele-  
ments auf dem Detektor 7 festgestellt. Die Verzerrung be-  
schreibt die Abweichung der Form des abgebildeten Code-  
elements (oder generell des Objektes 1) gegenüber seiner  
Form, die es bei der "Nullstellung" (Polarwinkel  $\varphi = 0$  und  $\delta$   
 $= 0$ ) des Objektes 1 besitzt.

[0046] Aufgrund des aus den obigen Gleichungen ermit-  
telten Abstandes  $|\vec{a}_i|$  zum i-ten Codeelement und des aus  
dem detektierten Vektor  $\vec{p}_i$  ermittelten Vektors  $\vec{r}_i$  er-  
geben sich die dreidimensionalen Koordinaten des Vektors  $\vec{r}_i$ .  
Daraus ergibt sich sofort der Richtungsvektor  $\vec{r} = |\vec{r}|/|\vec{r}_i|$ ,  
woraus sich leicht mittels trigonometrischer Funktionen die  
Polarwinkel  $(\varphi, \delta)$  berechnen lassen. Somit genügt bei be-  
kanntem Positionsvektor  $\vec{r}_0$  bereits die Messung eines einzi-  
gen Codeelements zur Berechnung der Polarwinkel  $(\varphi, \delta)$ .  
Die Genauigkeit der Polarwinkelberechnung kann natürlich  
durch die Einbeziehung mehrerer Codeelemente des Code-  
musters 2b wesentlich erhöht werden. In zudem ein bezi-  
glich des Drehwinkels  $\varphi$  eindeutiges Codemuster 2b auf dem  
Objekt 1 aufgebracht, so kann zugleich auch der Drehwinkel  
 $\varphi$  des Objektes 1 um seine Achse 4 aus dem abgebildeten  
Codemuster 2b bestimmt werden. Somit ist die gesamte  
Drehlage des Objektes 1 schnell, präzise und bestmögliche  
erfaßbar.

[0047] In einem weitergehenden zweiten Fall soll der  
Meßkopf 9 und das Objekt 1 räumlich gegeneinander varia-  
bel sein. Dann ist neben der Drehlage auch der Positionsvек-  
tor  $\vec{r}_0$  unbekannt. Die zusätzliche Bestimmung des Posi-  
tionsvektors  $\vec{r}_0$  ist insbesondere bei einer Nullstellung, ei-  
nem Operationsmikroskop oder einem Operationswerkzeug

als Objekt 1 essentiell und kann natürlich auch bei dem  
oben genannten Geschloßrohr erfolgen). Bei Nullvermes-  
sungen ist der Positionsvektor  $\vec{r}_0$  insbesondere 3 zum Fuß-  
punkt 3 der Abbildungsoptik 5 und der Höhe H der Abbildungsoptik 5 zum Fuß-  
punkt 3 der Nullvermessung – sogar die eigentlich interes-  
sante Meßgröße. Wird zugleich auch der Richtungsvektor  $\vec{r}$   
von der exakten Senkrechten seitlich etwas abweichend in  
Nullvermessung ermittelt, so hat dies die weitere oben ge-  
nannte verteilbare Auswirkung auf die Genauigkeit der Null-  
vermessung und die Handhabung beim Nullvermes-  
sen. Dabei kann sogar bewußt auf eine senkrechte Aus-  
richtung der Nullvermessung verzichtet werden und die An-  
bringung einer Ublese an die Nullvermessung kann entfallen.  
Bei den genannten mechanischen Hilfsmitteln für die Dia-  
gnose, Therapie oder Operation schließlich ist die Kenntnis  
des Positionsvektors  $\vec{r}_0$ , des Richtungsvektors  $\vec{r}$  und des  
Drehwinkels  $\varphi$  gleichermaßen von Bedeutung.

[0048] Zur gleichzeitigen Bestimmung von  $\vec{r}_0$  und  $\vec{r}$  ge-  
nügt es im Prinzip, aus dem auf dem Detektor 7 abgebilde-  
ten Codemuster 2b nur drei Codeelemente auszuwählen, de-  
nen Code-Nummern 1 zu bestimmen und auf diese Codeele-  
mente die durch die obigen Gleichungen beschriebene Vek-  
toralmathematik anzuwenden.

[0049] Dabei ist es natürlich für die Genauigkeit und Si-  
cherheit des Ergebnisses vorteilhaft, zusätzliche oder alle  
detektierten Codeelemente für die Auswertung heranzu-  
nehmen und die beschriebene Vektoralmathematik anzuwen-  
den. Darüber hinaus können auch der Vektoralmathematik  
bekannte Schätz- und Ausgleichsverfahren eingesetzt wer-  
den. Auch mit Hilfe von Iterationsverfahren und ähnlichen  
mathematischen Methoden können die obigen Vektorglei-  
chungen gelöst werden.

[0050] Anstelle der Codeelemente des Codemusters 2b  
können auch Details von Objektstrukturen 2a oder Markie-  
rungen auf dem Objekt 1 in analoger Weise ausgewer-  
tet werden.

[0051] Verteilbarweise können die so ermittelten Lage-  
parameter des Objektes 1 in nachfolgende Optimierungsver-  
fahren eingesetzt und dadurch noch genauer bestimmt wer-  
den. Dabei werden die Lageparameter so lange variiert, bis  
die aus den Lageparametern errechnete Detektorbild-  
der Objektstrukturen 2a, 2b optimal mit der tatsächlich detek-  
tierten Bildinformation übereinstimmt. Prinzipiell können  
die Optimierungsverfahren aber auch unabhängig von vor-  
ergehenden Berechnungen durchgeführt werden.

[0052] Fig. 4 zeigt schematisch als Objekt 1 ein Hilfsmil-  
tel für den medizinischen Bereich, dessen räumliche Posi-  
tion und Drehlage bezüglich eines Patienten von entschei-  
dender Bedeutung ist. So kann das Objekt 1 ein Operations-  
mikroskop, ein Endoskop oder ein mit dem Patienten  
fest verbundener Rahmen oder auch eine Strahlungsquelle  
zur Tumorbildung sein. Das Objekt 1 kann wie in Fig. 4  
schematisch gezeigt an mehreren Stellen auf einer Oberflä-  
che mit einem Codemuster 2b versehen sein. Die räumliche  
Position des Objektes 1 wird beispielsweise mit Hilfe eines  
Schwenkarmes 10 verbunden. Zudem ist das Objekt 1 an ei-  
nem Drehpunkt 3 in den drei Winkeln  $\varphi, \delta, \kappa$  drehbar um  
Schwenkarm 10 gelagert, so daß auch seine Drehlage belie-  
big eingestellt werden kann. Somit kann das Objekt 1 – be-  
spielsweise bei einer Gehirnoperation – in eine beliebige er-  
forderliche räumliche Lage am Kopf des Patienten gebracht  
werden.

[0053] Dabei kann das Objekt 1 von mehreren Meßköpfen  
9, 9a, 9b, 9c aufgenommen und aus den Objektstrukturen 2a,  
2b gemäß den obigen Gleichungen oder mit Hilfe der Redun-  
danzierungsmethoden ausgewertet werden. Aus Redun-  
danzierungsgründen und wegen der möglichen Verdeckung des Objekt-

strukturen 2a, 2b durch Personen oder Instrumente sind mehrere Maßköpfe 9a, 9b, 9c im Raum angeordnet. Die räumlichen Koordinaten des Dreipunktes 3 (Positionvektor  $\vec{r}_0$ ) und die Drehlage  $\varphi$ ,  $\delta$ ,  $\chi$  des Objektes 1 können bezüglich eines jeden Maßkopfes 9a, 9b, 9c ermittelt werden. Da die räumliche Lage der Maßköpfe 9a, 9b, 9c unvoreingenommen ist, können die Lageparameter des Objektes 1 in ein übergeordnetes Koordinatensystem, z. B. in das Koordinatensystem des Patienten transformiert werden. Somit kann dem Chirurgen die genaue räumliche Lage des Operationsmikroskops oder der Operationsinstrumente bezüglich des Operationsgebietes angezeigt werden. Zudem können die Operationsinstrumente vollautomatisch geführt werden. [0054] In Fig. 5a ist schematisch ein Objekt 1 dargestellt, an dem ein separater Körper 1a angebracht ist. Durch die eilungsgemäße Vermessung und Auswertung der Objektstrukturen 2a, 2b des Körpers 1a wird die (6-dimensionale) räumliche Lage des Körpers 1a und somit auch die des Objekts 1 ermittelt. Vorteilhaftweise kann ein Objekt 1, das für einen Anwendungszweck zur ungünstigen Struktur aufweist, nachträglich mit einem geeigneten Körper 1a ausgestattet werden. Gegebenenfalls kann der Körper 1a auch leicht wieder entfernt werden. Selbstverständlich können auch mehrere derartige Körper 1a an einem Objekt 1 befestigt sein (Fig. 5b).

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Position und Drehlage eines Objektes (1) mit bekannten Objektstrukturen im dreidimensionalen Raum unter Verwendung eines optischen Maßkopfes (9, 9a, 9b, 9c) mit einer Abbildungsoptik (5), einem in zwei Dimensionen ortsunabhängig veränderbaren Abbildungsmaßstab und Verzerrung ermittelt werden und daraus zusammen mit den Abbildungseigenschaften der Abbildungsoptik (5) die durch Lageparameter beschriebene Position und/oder Drehlage des Objektes (1) im Raum bestimmt wird, wobei die Lageparameter unter Zuhilfenahme geometrischer Vektorgleichungen ermittelt werden.

2. Verfahren zur Bestimmung der Position und Drehlage eines Objektes (1) mit bekannten Objektstrukturen im dreidimensionalen Raum unter Verwendung eines optischen Maßkopfes (9, 9a, 9b, 9c) mit einer Abbildungsoptik (5), einem in zwei Dimensionen ortsunabhängig veränderbaren Abbildungsmaßstab und Verzerrung ermittelt werden und daraus zusammen mit den Abbildungseigenschaften der Abbildungsoptik (5) die durch Lageparameter beschriebene Position und/oder Drehlage des Objektes (1) im Raum bestimmt wird, wobei die Lageparameter unter Zuhilfenahme geometrischer Vektorgleichungen ermittelt werden.

Objektes (1) im Raum bestimmt wird, wobei die Lageparameter mit Hilfe von mathematischen Optimierungsmethoden so variiert werden, daß das daraus berechnete Detektorbild optimal oder zumindest hinreichend gut mit der detektierten Bildinformation des Objektes (1) übereinstimmt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektstrukturen die geometrische Form (2a) des Objektes (1) oder Markierungen auf dem Objekt (1) sind.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektstrukturen ein auf dem Objekt (1) angebrachtes Codemuster (2b) sind.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektstrukturen als Codemuster (2b) auf einem mit dem Objekt (1) mechanisch verbundenen separaten Körper (1a) angebracht sind.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere mit einem Codemuster (2b) versehene Körper (1a) verwendet und mit dem Objekt (1) mechanisch verbunden werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (1) oder/und der Körper (1a) rotatorisch ausgebildet sind.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektstrukturen (2a, 2b) rotatorisch symmetrisch zur Längsachse des Objektes (1) oder/und des Körpers (1a) ausgebildet sind.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektstrukturen (2a, 2b) abwechselnd rotationssymmetrisch und parallel zur Längsachse des Objektes (1) oder/und des Körpers (1a) ausgebildet sind.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektstrukturen (2a, 2b) spiralförmig ausgebildet sind.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Objektstrukturen (2a, 2b) vollkommen unregelmäßig aber hinsichtlich ihrer Lage auf dem Objekt (1) oder/und auf dem Körper (1a) eindeutig sind.

12. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Verbesserung der Maßgenauigkeit die Ortsgrundfrequenz oder eine harmonische Ortsoberfrequenz der von den Objektstrukturen (2a, 2b) auf dem Detektor (7) erzeugten Intensitätsverteilung mit der Ortsgrundfrequenz der strahlungsempfindlichen Strukturen des Detektors (7) ein niedriges Überlagerungsmuster bildet.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (1) beleuchtet wird oder daß das Objekt (1) oder die Objektstrukturen (2a, 2b) selbstleuchtend sind.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig mehrere optische Maßköpfe (9, 9a, 9b, 9c) zur räumlichen Lagebestimmung eines Objektes (1) oder mehrerer Objekte (1) verwendet werden.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Position und/oder Drehlage des Objektes (1) beschreibenden Lageparameter in ein übergeordnetes Koordinatensystem transformiert werden.

16. Anwendung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (1) ein in der medizinischen Diagnostik, Therapie oder bei Operationen eingesetztes Hilfsmittel ist.

17. Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 16, da-

durch gekennzeichnet, daß das Hilfsmittel ein Operationsmikroskop, ein Operationswerkzeug, ein mit einem Patienten verbundener Rahmen oder eine Strahlungsquelle zur Tumorbearbeitung ist.

18. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (1) eine Nivellierfläche ist.

19. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt (1) ein Geschlitzrohr oder eine Richt- oder Radarantenne ist.

#### Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

Fig.1

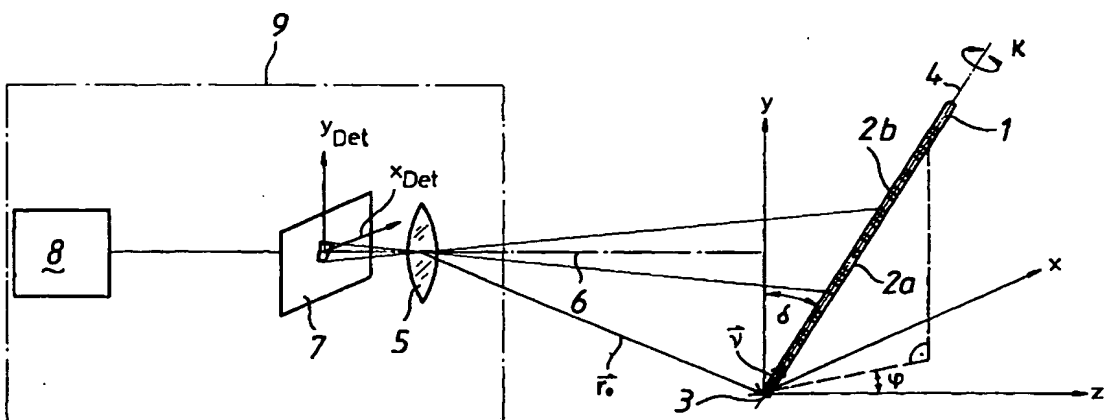


Fig.2

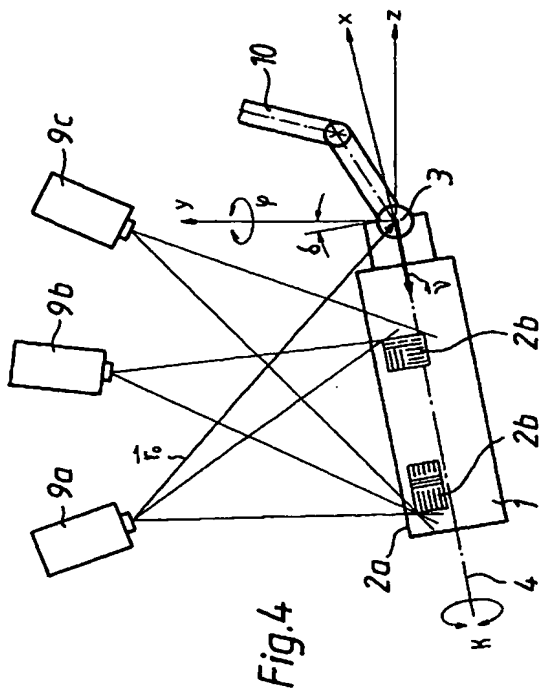
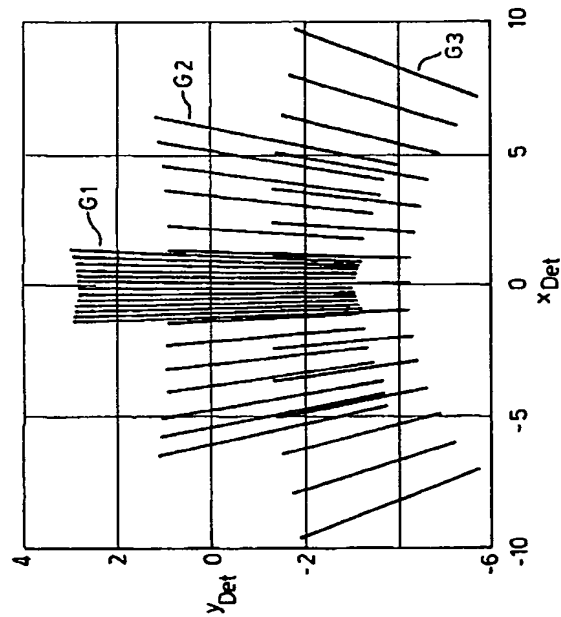


Fig.5a

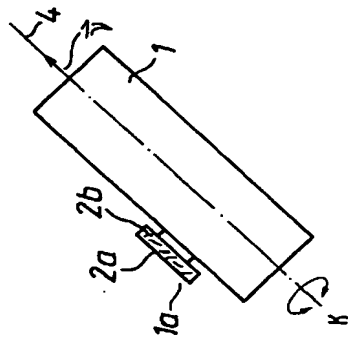


Fig.5b

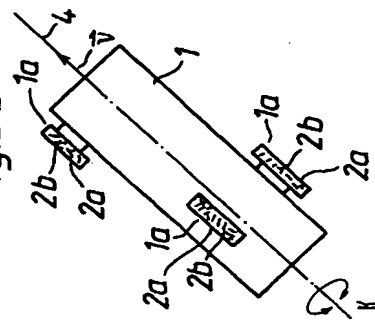


Fig.3

